

УДК 658.8

О.Н. Сумина, Ю.Я. Ткачук

Методический подход к прогнозированию инвестиционно-инновационного цикла технических систем

В статье проанализированы закономерности развития технических систем и рассмотрены возможности их аппроксимации для инновационных систем как технико-экономических. Предложена аналитическая зависимость, которая отображает изменения объемов инвестиций в производство современных технических систем.

Ключевые слова: инновационный цикл, технические и инновационные системы, инвестиции.

Главным итогом развития инновационной деятельности в 20-м веке является возникновение технических систем, в рамках которых непрерывно зарождаются и реализуются радикальные инновации. Для успешного развития таких систем необходима их научная и финансовая поддержка. Но во все ли новшества необходимо вкладывать средства и всегда ли они будут эффективны? Без научно-технического прогнозирования развития технического объекта ответить на этот вопрос практически невозможно.

Прогнозирование времени наиболее эффективного инвестирования в производство технических систем несмотря на очевидные успехи в этой области [1, 2, 3], по-прежнему остается скорее искусством, чем наукой. Предвидеть и учесть многочисленные факторы, влияющие на этот процесс в полной мере практически невозможно [4, 5].

В данной статье предлагается использование математических методов, разработанных для анализа развития технических систем [6], позволяющих эффективно управлять вложением инвестиций и на всех стадиях инновационного цикла.

Целью данной работы является получение аналитического выражения, адекватно описывающего имеющиеся в открытых источниках статистических данных по инвестициям в производство оборудования, что позволит с минимальными погрешностями прогнозировать периоды наиболее эффективного инвестирования с минимальными рисками.

Современная теория и практика предлагает более 130 методов разработки прогнозов, которые можно свести к трем основным группам: методы экстраполяции, экспертные методы и методы моделирования [7].

При прогнозировании развития технических систем наиболее часто используют методы экстраполяции. Анализируя изменения отдельных параметров разрабатываемой техники в прошлом и исследовав факторы этих изменений, даются выводы о закономерностях развития технических объектов в будущем. Зачем инвестору нужно учитывать эволюционный этап развития инновационного продукта или технической системы? Если предлагается инвестировать в проекты, в которых инвестиционные

Сумина Ольга Николаевна, кандидат экономических наук, доцент кафедры маркетинга Сумского государственного университета; *Ткачук Юрий Яковлевич*, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры прикладной гидроаэромеханики Сумского государственного университета.

© О.Н. Сумина, Ю.Я. Ткачук, 2009

продукты стоят одинаково, но один находится на втором этапе своего развития, а другой является трех этапной технической системой. Какой из них следует выбрать? Для того, чтобы сделать верный выбор, необходимо прогнозировать развитие такого сложного продукта, каким являются технические системы. Большинство же проанализированных бизнес-планов такого вопроса даже не рассматривают.

Финансовый анализ бизнес-проектов очень важен и необходим, но ему должно предшествовать исследование, выявляющее те инновационные проекты, которые имеют шансы на успех, и отсеивающее обреченные разработки [8].

Авторами предлагается прикладной метод прогнозирования развития технических систем, основанный на экстраполяции. Методами экстраполяции решаются задачи как статистического, так и динамического анализа.

В динамической задаче главным фактором развития выступает время. Для технических инноваций анализируется изменение во времени основных параметров, определяющих продуктивность технической системы, таких как мощность, скорость грузоподъемность и пр.

Одним из методологических достижений XX века является эволюционный подход к прогнозированию развития технических систем. Исследователи в области биологии пришли к выводу, что рост живых организмов проходит по S-образной кривой.

То же происходит и с техническими системами. Любой технический продукт (от простого механизма до компьютера) развивается по S-образной кривой.

Если отложить по оси X ресурсы (например, временные), затраченные на развитие какой-либо технической системы, а по оси Y – её продуктивность (или основные технические параметры), то обычно получается кривая следующего вида (рис. 1).

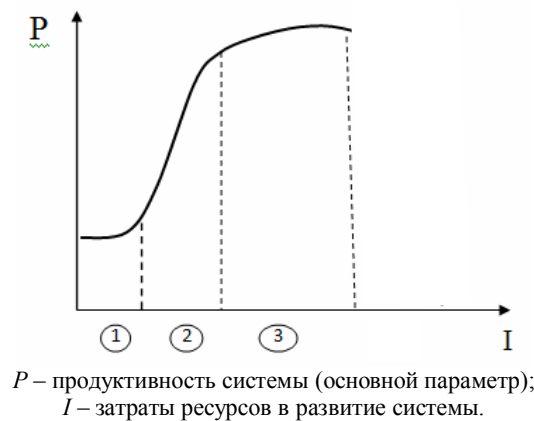


Рисунок 1 – Зависимость продуктивности системы от времени её развития

На первом этапе S-образной кривой зарождается принципиально новая техническая система, что бывает в двух случаях:

- 1) продукт, выполняющий новую функцию;
- 2) продукт, выполняющий уже известную функцию, но за счет реализации нового принципа.

Задача первого этапа состоит в том, чтобы продукт начал работать. При этом новая

техническая система работает хуже, чем предшествующая, в которой реализовался старый, отлаженный принцип действия. Возникает естественный вопрос – стоит ли вкладывать инвестиции в такой продукт? Чаще всего стоит, так как он может потенциально достичь большего за счет нового принципа действия.

Когда новая техническая система как-то заработала, реализуя новый принцип действия, система переходит на второй этап своего развития. Её продуктивность растет пропорционально вложению капитала, в том числе и интеллектуального. Новая система становится все более надежной в эксплуатации за счет появления вспомогательных технических систем. Часто на втором этапе техническая система начинает разветвляться на разные продукты, предназначенные для работы в разных условиях или выполняющие различные функции.

Когда потенциал повышения продуктивности исчерпан и продукт доведен до максимума удобства в эксплуатации, система переходит на третий этап. На этом этапе системы имеют тенденцию к объединению с другими продуктами, образуя «гибриды». Трех этапная система не отмирает, пока она социально востребована или не появилась «первоэтапная» система, выполняющая те же задачи за счет нового, более эффективного принципа.

На четвертом этапе развития техническая система может даже снижать свои технические показатели от максимально возможных к тем, которые необходимы для конкретной ниши рынка. Переход технической системы на четвертый этап может быть вызван её переходом в разряд сувениров (игрушек) или полезных моделей как носителя определенной информации.

Необходимо отметить, что этап развития технической системы обуславливает тип технического творчества по её совершенствованию. На первом этапе изобретения имеют концептуальный характер (на уровне научных открытий). На втором этапе изобретения уже чисто инженерные. «Трех этапные» товары уже переходят в руки дизайнеров [3].

Проведение эволюционного анализа при прогнозировании позволяет представить на основании объективных законов прообразы следующих поколений технической системы и защитить их патентами. Помимо разумного вложения инвестиций это поможет вести конкурентную борьбу с другими фирмами [8].

Рассмотрим методы, основанные на свойствах *S*-образных кривых, характеризующие разные этапы в развитии технических систем [9], которые могут быть использованы для большинства развивающихся систем в том числе и нетехнического характера. Это подтверждено примерами воплощения идей при выполнении диссертационных исследований [10].

Применительно к целям данной работы принимаем, что основным параметром развития инновационной системы как технико-экономической является размер инвестиций в разные периоды (этапы) её *S*-образной кривой (рис. 2).

На графике *S*-образной кривой (рис. 2) можно выделить характерные точки:

- *m. A* – момент зарождения данной системы, который соответствует начальным инвестициям ($I_0 = I_{min}$).
- *m. B* – точка перехода к массовому (серийному) производству технической системы (инвестиции *IB*).
- *m. C* – точка исчерпания физического принципа, заложенного в данной технической системе (соответствует инвестициям *IC*).
- *m. D* – точка перехода к инвестициям, близким к $I = I_{max}$, которая характеризует

нецелесообразность дальнейшего увеличения инвестиций в данную техническую систему, так как никакими усилиями конструкторов и технологов невозможно улучшить технические параметры данной системы.

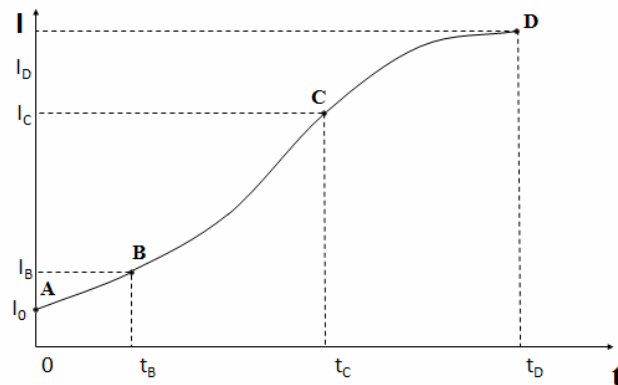


Рисунок 2 – Зависимость инвестиций I от периода t развития инновационной системы

Кривая AD имеет характерные участки.

- AB – медленный рост инвестиций, связанный с большими рисками ввиду недостаточной информации о полезных свойствах системы;
- BC – бурный рост инвестиций, связанный с массовым выпуском данной технической системы, очевидным преимуществом данной системы перед аналогичными, хорошей информированностью потребителей о полезности системы за счет рекламы, PR и т.д.;
- CD – замедление темпов инвестирования в связи с появлением на рынке конкурирующих систем аналогичного назначения, но более выгодных для покупателя.

Воспользовавшись зависимостью, предложенной автором в [6], запишем её применительно к обозначениям, приведенным в данном исследовании (рис. 2):

$$I_i = I_0 + (I_{\max} - I_0) \cdot \left[1 - \frac{1}{e^{k \cdot (t_i - t_0)^2}} \right] \quad (1)$$

где e – основание натуральных логарифмов; k – константа при экспоненте; t_i – текущее значение времени, период.

Представим выражение (1) в безразмерной форме:

$$\frac{I_i - I_0}{I_{\max} - I_0} = 1 - \frac{1}{e^{k \cdot (t_i - t_0)^2}} \quad (2)$$

Или

$$e^{k(t-t_0)^2} = 1 - \frac{I_i - I_0}{I_{\max} - I_0} \quad (3)$$

Упростив правую часть выражения (3) имеем:

$$e^{k(t-t_0)^2} = \frac{I_{\max} - I_i}{I_{\max} - I_0} \quad (4)$$

Логарифмируя и преобразуя выражение (4), получаем:

$$k = \frac{\ln\left(\frac{I_{\max} - I_i}{I_{\max} - I_0}\right)}{(t - t_0)^2} \quad (5)$$

Рассмотрим пример использования зависимости (1) для прогнозирования инвестиций в разные временные периоды развития компьютерной техники, как наиболее динамичной отрасли мирового масштаба (табл. 2, 3).

Таблица 2 – Объемы инвестиций в производство информационных систем и технологий в мире с 1980 по 1995 г. по данным *World Economic Survey* 1996 г. (млрд. дол.)

1980	1985	1990	1995	Среднегодовой темп прироста, %
100	224	353	621	12

Для удобства представим расчеты параметров S-образных кривых в табличной форме.

Таблица 2 – Расчеты параметров S-образных кривых

Реальные инвестиции I_i (млрд. дол.)	$I_{\max} - I_i$	$\frac{I_{\max} - I_0}{I_{\max} - I_i}$	$\ln\left(\frac{I_{\max} - I_0}{I_{\max} - I_i}\right)$	$t_i - t_0$	$(t_i - t_0)^2$	$k = \frac{\ln\left(\frac{I_{\max} - I_0}{I_{\max} - I_i}\right)}{(t - t_0)^2}$
$I_{\min} = 100$						
$I_1 = 200$	640	1,1563	0,1452	5	25	$5,808 \cdot 10^{-3}$
$I_2 = 353$	487	1,5195	0,4184	10	100	$4,184 \cdot 10^{-3}$
$I_3 = 621$	219	3,3890	1,2176	15	225	$5,411 \cdot 10^{-3}$
$I_4 = 800$	40	18,500	2,9178	20	400	$7,294 \cdot 10^{-3}$
$I_{\max} = 840$						$k_{cp} = \frac{\sum k}{4} = 6,243 \cdot 10^{-3}$

Представим полученные значения в 7-й колонке табл. 3 графически в сравнении с фактическими объемами инвестиций (рис. 3).

Из графика S-образной кривой (рис. 3) следует, что предлагаемая зависимость достаточно адекватно отражает тенденции инвестирования в современные технические системы и может быть использована для прогнозирования целесообразности инвестирования конкретных периодов инновационного цикла.

Таблица 3 – Определение расчетных показателей значений инвестиций

Расчетная точка I_{pi}	$K_{cp} \cdot (t_i - t_0)^2$	$e^{K_{cp} \cdot (t_i - t_0)^2}$	$\frac{1}{e^{K_{cp} \cdot (t_i - t_0)^2}}$	$1 - \frac{1}{e^{K_{cp} \cdot (t_i - t_0)^2}}$	$(I_{max} - I_0) \cdot \left[1 - \frac{1}{e^{K_{cp} \cdot (t_i - t_0)^2}} \right]$	$I = I_0 + (I_{max} - I_0) \cdot \left[1 - \frac{1}{e^{K_{cp} \cdot (t_i - t_0)^2}} \right]$
1	2	3	4	5	6	7
$I_0 = I_{min}$	—	—	—	—	—	100
I_1	0,156	1,1689	0,8555	0,1445	106,93	206,93
I_2	0,624	1,8670	0,5356	0,4644	343,66	443,66
I_3	1,404	4,0715	0,2456	0,7544	558,26	658,26
I_4	2,497	12,1484	0,0823	0,9177	679,10	779,10
I_{max}	—	—	—	—	—	840,00

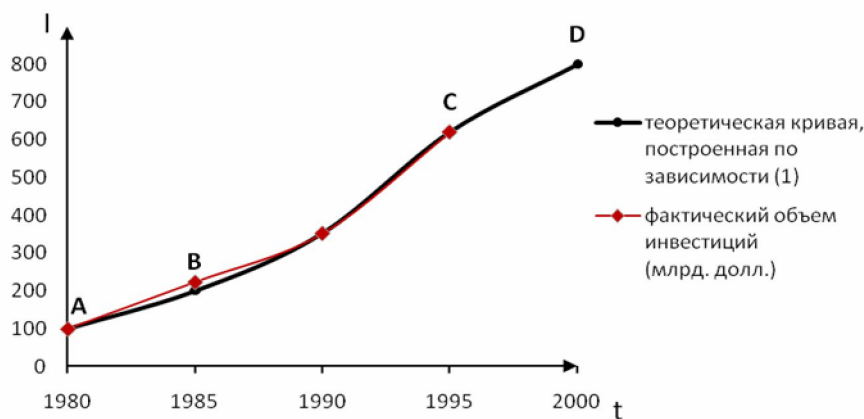


Рисунок 3 – Сравнение теоретической кривой с фактическими данными в табл. 1

Выводы:

1. Проанализированы закономерности развития технических систем и рассмотрена возможность их аппроксимации для инновационных систем как технико-экономических.
2. Предложена аналитическая зависимость, отражающая изменения объемов инвестиций в производство современных технических систем.
3. Проведен расчет S-образной кривой для конкретного случая инвестирования в производство информационных систем и технологий в мире.
4. Предлагаемая зависимость $I = f(x)$ может быть рекомендована для прогнозирования вложения инвестиций в другие типы технических систем.

1. *Инновационный менеджмент: справ. пособие* / [Под ред. П.Н. Завлина, А.К. Козанцева, Л.Э. Миндели]. – Изд-е 2-е, перераб. и доп. – М., ЦИОН, 1998 – 568 с.
2. *Світовий ринок товарів та послуг: підручник* / [А.А. Мазаракі, Є.М. Воронова, В.В. Юхименко та ін.]; За заг. ред. А.А. Мазаракі. – Х. : Вид-во «Ранок», 2008. – 240 с.
3. *Шнейдер А.* Наука побеждать в инвестициях, менеджменте и маркетинге / А. Шнейдер, Я. Кацман, Г. Топчишвили.
4. *Ильяшенко С.Н.* Информационное обеспечение стадий процесса сегментации рынков сбыта промышленных предприятий / С.Н. Ильяшенко // Информатика-Машиностроение. – 1996.. – № 4. – С. 6-9.
5. *Ильяшенко С.Н.* Экономические аспекты поиска целевых рынков: сегментация, оценка риска, экономический инструментарий / С.Н. Ильяшенко. – Сумы : ВВП «Мрія ЛТД», 1997. – 156 с.
6. *Ткачук Ю.Я.* Совершенствование методов расчёта промышленных роботов / Ю.Я. Ткачук. – К. : Знание, 1988. – 24 с.
7. *Сумина О.Н.* Разработка экономико-математической модели планирования трудоемкости в системе технологической подготовки производства / О.Н. Сумина // Економіка праці: Зб. наук. праць. Вип. 3. – Хмельницький: Технологічний університет Поділля, НВП «Евріка» ТОВ, 1999. – С. 152-155.
8. *Сумина О.М.* Прогнозування розвитку підприємств на основі квантово-економічного аналізу. / О.Н. Сумина // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Актуальні проблеми і прогресивні напрямки управління економічним розвитком вітчизняних підприємств, 21-22 травня 2009 р. Кривий Ріг. – С. 122-124.
9. *Ткачук Ю.Я.* Теория технических систем. Конспект лекций / Ю.Я. Ткачук. – Сумы : Изд-во СумГУ, 2001. – 40 с.
10. *Ткачук Ю.Я.* Определение параметров насосных установок объемных гидроприводов промышленных роботов на этапе эскизного проектирования / Ю.Я. Ткачук // Вестник Нац. техн. университета «КПИ». – К.: Машиностроение. – Т. 1, 36. – 1999. С. 282.

Получено 01.10.2009 г.

О.М. Суміна, Ю.Я. Ткачук
Методичний підхід до прогнозування
інвестиційно-інноваційного циклу технічних систем

У статті автором проаналізовані закономірності розвитку технічних систем і розглянута можливість їх апроксимації для інноваційних систем як техніко-економічних. Запропонована аналітична залежність, що відображає зміни об'ємів інвестицій у виробництво сучасних технічних систем.

Ключові слова: інноваційний цикл, технічні та інноваційні системи, інвестиції.